

文章编号: 1001-3806(2012)02-0188-03

大口径光学薄膜激光预处理系统缺陷检测控制

余丽芳, 叶玉堂*, 吴建平

(电子科技大学 光电信息学院, 成都 610054)

摘要: 大口径光学薄膜激光预处理系统是通过确定大口径光学薄膜的缺陷分布, 对大口径光学薄膜的缺陷进行准确地激光修复。为了达到保障系统运行速率与检测精度的目的, 采用对缺陷检测部分的运动控制与补偿进行改进的方法, 进行了理论分析和实验验证, 取得了在不同运动速度下光栅尺的读数精度、伺服电机的控制精度以及图像采集偏移量的补偿值等数据。结果表明, 采用伺服电机控制运动并结合硬件通过指定点比较函数控制采图点的方式保证系统在高速运动(20mm/s)情况下, 对系统进行多次运动校正和适当的运动补偿, 可以提高大口径光学薄膜激光预处理系统缺陷检测的精度, 从而改善大口径光学薄膜激光预处理的效果。

关键词: 光学器件; 激光预处理; 缺陷检测; 运动校正

中图分类号: TN247

文献标识码: A

doi: 10.3969/j.issn.1001-3806.2012.02.010

Defect detection and control of a laser conditioning system for large diameter optical film

YU Li-fang, YE Yu-tang, WU Jian-ping

(School of Photoelectric Information, University of Electronic Science and Technology of China, Chengdu 610054, China)

Abstract: A laser conditioning system for large-aperture optical film is to determine the defect distribution of the large-diameter optical film and repair the defects with laser. In order to guarantee the speed and accuracy of detection system, the motion control and compensation of the defect detection part was improved. Theoretical analysis and experimental verification were conducted, and the reading accuracy of gratings, the servo control accuracy and the compensation value of image acquisition offset were obtained at different velocities. The results show that the detection accuracy of the laser conditioning system for large-diameter optical thin-film can be improved by means of multiple motion corrections and an appropriate motion compensation if controlling the motion of the servo motor and the map points based on point comparison function at high speed(20mm/s), thereby improving its laser pretreatment effect.

Key words: optical devices; laser conditioning; inspection of defect; motion correction

引言

目前在大型高功率固体激光装置的建造和运行中, 光学薄膜的负载能力已经成为影响装置输出通量的最大瓶颈^[1-2]。提高光学薄膜负载阈值的方法主要有两种: 一种是提高光学元件基底的机械抛光质量, 减少抗损伤能力薄弱的区域; 另一种方法是借助薄膜后处理技术提高光学薄膜负载阈值, 主要有超声波清洗技术、激光预处理技术和离子束后处理技术^[3-6]。其中, 激光预处理提高光学薄膜抗激光损伤阈值的机理还不十分清楚, 主要有几种理论模型, 分别是电子缺陷模型、缺陷消除模型、激光加热退火模型、表面微观结

构变化模型等。

激光预处理技术是利用强激光作用于光学薄膜表面的缺陷部分, 以提高缺陷部分的抗损伤能力。由此可见, 确定光学薄膜的缺陷分布是进行激光预处理的基础。随着激光技术的运用与发展, 对光学薄膜缺陷检测的精度要求越来越高。

1 运动控制参量测试

1.1 光栅尺编码读取

缺陷检测部分的设计之初, 是采用光栅尺读数控制采图, 然后根据光栅尺读数与图像处理技术来确定缺陷分布。光栅尺的精度为 $1\mu\text{m}$, 从理论上讲, 通过读取光栅尺编码计数能将运动精度控制在 $1\mu\text{m}$ 以内。但由于系统要求运动速率达到 $20\mu\text{m}/\text{s}$, 运动 $1\mu\text{m}$ 距离所需要的时间只有 $50\mu\text{s}$, 计算机在 $50\mu\text{s}$ 内从运动控制卡读取光栅尺编码计数是无法实现的。

作者简介: 余丽芳(1987-), 女, 硕士研究生, 研究方向为激光损伤与防护技术。

* 通讯联系人。E-mail: ytye@uestc.edu.cn

收稿日期: 2011-07-15; 收到修改稿日期: 2011-08-25

不同运动速率下,计算机连续读取光栅尺编码计数的结果如表 1 所示。在 1mm/s 的速率时,计算机的读数是连续的;但是当速率大于 5mm/s 时,计算机读数是间断的。若是通过该读数来控制运动,必定会引入较大的计数误差。因此,系统是不能通过计算机从运动控制卡读取光栅尺编码计数这种方式来精确确定并控制采图的。

Table 1 Grating readings at different speeds

speed/(mm · s ⁻¹)	grating reading						
20	4	11	18	27	33	39	47
10	2	6	9	13	17	20	24
5	1	3	4	6	9	11	14
1	1	2	3	4	4	5	6

1.2 伺服电机运动精度

由于在 20mm/s 速率下,计算机不能连续读取运动控制卡中光栅尺的编码计数,不能直接通过光栅尺控制系统运动。但已知系统伺服电机螺杆的螺距 ($d = 5000\mu\text{m}$) 以及电机转动 1 周所需要的脉冲数 ($p = 90000\text{Hz}$),便可以计算出脉冲数和运动距离之间的转换比例 $r = p/d = 18$,再通过设置伺服电机的脉冲数,可以达到控制系统的运动距离的目的,具体的计算公式为 $P = D \times r$ (P 为实际的脉冲数, D 为运动距离)。表 2 是通过设置伺服电机脉冲数控制运动精度的测试,表明在较大的运动距离下误差很小(小于 $2\mu\text{m}$)。

Table 2 Accuracy of workbench

normal/ μm	measured/ μm	inaccuracy/ μm	error mean/ μm
10000	9998	2	1
	9996	4	
	10003	-3	
30000	30000	0	1.3
	29997	3	
	29999	-1	
50000	49996	4	1.3
	49997	3	
	50003	-3	

由以上测试可以知道,通过读取光栅尺编码计数来设定采图点是不可行的,究其原因是计算机与控制卡之间数据访问所需时间大于系统移动 $1\mu\text{m}$ 所耗的时间,使得计算机无法连续读取光栅尺编码计数。因此,系统通过计算机利用伺服电机脉冲计数定位的方式控制采图运动。另一方面,利用运动控制卡的点比较函数,通过硬件方式读取光栅尺计数与指定点进行比较,到达比较点则触发一个信号控制 CCD 进行同步采集。

2 采图方式及偏移补偿

系统采用光栅式扫描方式控制采图扫描的路径(见图 1)。即 x 方向运动停止后, y 方向开始运动;

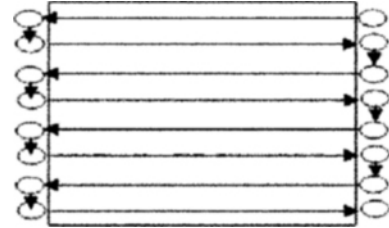


Fig. 1 Route of grating scan

方向运动完成后, x 方向开始往反方向运动,如此循环直至将整个光学薄膜完全覆盖扫描为止。

为了完整检测光学薄膜,相邻连续采集的图像之间不允许存在间隙。同时,为了提高系统扫描效率,对每张图像的有效面积提出了要求。所谓图像的有效面积就是图像中除去与其它图像重叠部分剩余的面积。显而易见的是,图像的有效面积越大,系统的扫描采图效率就越高。由图 1 可知,如果将 y 方向每次运动的位移距离设置为图像的高度,就可以仅在 x 方向运动时采图。设光学薄膜的宽度为 W ,CCD 视场宽度为 w ,采图起始点的横坐标为 c ,则采图点的横坐标为 $c + i \times w$ (其中 $i = 0, 1, 2, 3, \dots; i < W/w$)。

图 2 为扫描采集垂直方向直线并根据采图位置进行拼接后的图像。由图 2 可见,相机从左往右采集的图像与相机从右往左采集的图像之间存在一定的偏移。通过分析,这个偏移是由于采集卡从编码记录光栅尺计数、比较光栅尺计数到发出外触发脉冲、相机采集一帧图像的过程中存在一定的延时造成的。当相机从左往右扫描并采图时,所采集到的图像会向左偏移(设偏移值为 S_l);当相机从右往左扫描并采图时,所采集到的图像会向右偏移(设偏移值为 S_r);可以肯定的是 $S_r = S_l$ 。延迟时间是相对固定的,在速率一定的情况下造成的偏移值也是固定的,并且偏移值 $S = S_r + S_l$ 。所以,可以通过对图 3 中的偏移值 S 进行测量,如图 4 所示,从而可以进一步计算出相机从左往右扫描和相机从右往左扫描的补偿值($S/2$)。

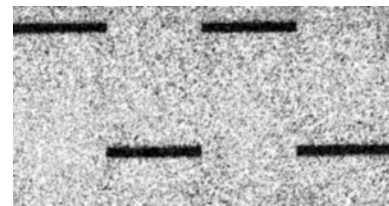


Fig. 2 Original chart

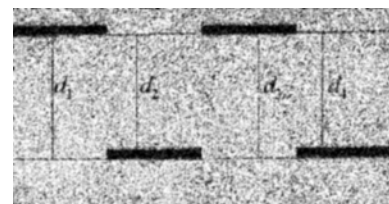


Fig. 3 Survey offset value

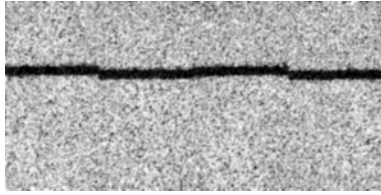


Fig. 4 Result of compensate for 421 pixels

通过实际测量可知采图的偏移值为421像素。根据计算值进行补偿过后的效果见图5。由图5可知,补偿过后还是存在微小的偏移,这是由于标定误差与计算误差引起的,将计算得到的补偿值421像素进行多次测量、拼接,调整修正到428像素时,拼接后的图像基像素本还原为直线,即428像素是最佳的补偿像素。

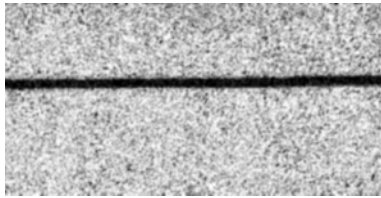


Fig. 5 Result of compensate for 428 pixels

采用这种多次补偿校正的方式补偿后拼接得到的图像可以真实地反应出光学薄膜的缺陷分布,通过坐标转换便可以准确地定位各个缺陷,从而保证光学薄膜缺陷处理等后续工作的准确进行。

3 实验结果

可以用缺陷清除模型^[7]来解释激光预处理的机理。利用强激光作用于光学薄膜表面的缺陷部分,由辐射吸收产生的高温导致表面材料出现熔融现象,减小了材料黏度,使材料表面产生张力填补表面缺陷,从而可有效地改善光学薄膜表面的微观结构并增强其光学性能,提高光学薄膜材料的抗激光损伤能力^[8-11]。光学薄膜经大口径光学薄膜激光预处理系统处理前后的表面缺陷对比如图6所示。光学薄膜表面性能明显改善,前后划痕区域表面峰谷起伏偏差(R_{PV} 值)和表

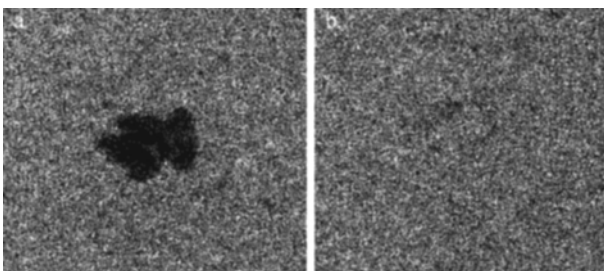


Fig. 6 Comparison between before and after defect-processing with a large diameter laser pretreatment system
a—pre-treatment b—post-treatment

面粗糙度均方根(R_q 值)分别由162nm、54nm变化到36nm、10nm。光学薄膜抗损伤阈值也得到大大提高,从15.6J/cm²提高到28.4J/cm²。

4 结论

使用大口径光学薄膜激光预处理系统对光学薄膜进行单面多次测试,表明该系统具有高速、高精度、运行平稳、高可靠性等特点。通过标定实验证明缺陷检测的总体误差在5%以内,为激光预处理过程提供了精确的缺陷分布位置,经过激光预处理后,光学薄膜的光学性能得到明显的改善。另一方面,缺陷检测部分也可以应用到其它设备上,应用于不同领域的各种精密表面检测中。

参考文献

- [1] NORTON M A, ADAMS J J, CARR C W, *et al.* Growth of laser damage in fused silica: diameter to depth ratio [J]. Proceedings of SPIE, 2007, 6720: 67200H/1-67200H/10.
- [2] CHEN M, XIANG X, JIANG Y, *et al.* Enhancement of laser induced damage threshold of fused silica by acid etching combined with UV laser condition [J]. High Power Laser and Particle Beams, 2010, 22(6): 1383-1387 (in Chinese).
- [3] HOU R X. Application and development of supersonic cleaning optical elements [J]. Optical Technology, 1996, 22(3): 44-47 (in Chinese).
- [4] CHEN S Zh. Ultrasonic cleaning technology and its development [J]. Cleaning Technology, 2004, 2(2): 7-12 (in Chinese).
- [5] CUI Y, ZHAO Y A, HE H B, *et al.* Effects of ultrasonics cleaning and laser conditioning on the laser induce damage threshold of the antireflection [J]. High Power Laser and Particle Beams, 2006, 18(10): 1712-1716 (in Chinese).
- [6] ZHANG D P, ZHANG D W, FAN Sh H, *et al.* Using ion post-treatment technique to improve laser-induced damage threshold of thin films [J]. High Power Laser and Particle Beams, 2005, 17(2): 213-216 (in Chinese).
- [7] HUANG Z X, JIANG X D, REN H, *et al.* Study of laser conditioning influence on properties of optical films [J]. High Power Laser and Particle Beams, 2004, 16(1): 23-26 (in Chinese).
- [8] CHEN M, YUAN X D, LÜ H B, *et al.* Laser conditioning technology of optics [J]. Optical Technique, 2010, 36(1): 79-83 (in Chinese).
- [9] HUANG J, LÜ H B, YE L, *et al.* Damage threshold improvement of fused silica chip by CO₂ laser pretreatment [J]. Chinese Journal of Lasers, 2007, 34(5): 723-727 (in Chinese).
- [10] HUANG J, ZHAO S N, WANG H J, *et al.* Local CO₂ laser treatment for repair surface defect in fused silica [J]. Chinese Journal of Lasers, 2009, 36(5): 1282-1286 (in Chinese).
- [11] HUANG J, LÜ H B, WANG H J, *et al.* Research of enhancing damage-thresholds of fused silica using UV laser treatment [J]. Laser Technology, 2009, 33(3): 297-313 (in Chinese).